



## PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

**Títol**

### PROJECTE DE PARC EÒLIC AL GOLF DE LLEÓ

**Autor/a**

Pau Schoenenberger Martorell

**Tutor/a**

Xavier Gironella Cobos

Alexis Campos Hortigüela

**Departament**

Enginyeria civil i ambiental

**Intensificació**

Enginyeria marítima

**Data**

25/01/2016



## **Documents que integren el projecte**

### **Document I. Memòria y Annexos**

- Memòria
- Annexos de la memòria
  - Annex 1. Antecedents - La energia eòlica marina
  - Annex 2. Emplaçament i batimetria
  - Annex 3. Estudi d'alternatives
  - Annex 4. Accions de càlcul:
    - 4.1. Vent
    - 4.2. Onatge
  - Annex 5. Càlcul estructural de l'element flotant
  - Annex 6. Procés constructiu
  - Annex 7. Pla d'obres
  - Annex 8. Estudi d'impacte ambiental
  - Annex 9. Gestió de residus
  - Annex 10. Control de Qualitat
  - Annex 11. Estudi de Seguretat i Salut
  - Annex 12. Justificació de Preus
  - Annex 13. Estudi econòmic i viabilitat del projecte

### **Document II. Plànols**

1. Emplaçament del parc
  - 1.1. Emplaçament
  - 1.2. Recurs eòlic
  - 1.3. Batimetria
  - 1.4. Protecció ambiental
  - 1.5. Procés constructiu
  - 1.6. Obres Dic Sud del Port de Barcelona
2. Disposició
  - 2.1. Disposició en planta
  - 2.2. Disposició en alçat i moorings
3. Estructura suport
  - 3.1. Dimensionament
  - 3.2. Proposta pretensat
  - 3.3. Armadures passives
  - 3.4. Estructures internes
4. Sistema d'evacuació elèctrica
  - 4.1. Sistema d'evacuació elèctrica
5. Seguretat i Salut
  - 5.1. Recinte d'obres
  - 5.2. Situació serveis d'emergència
  - 5.3. Abalisament marí 1

- 5.4. Abalisament marí 2
- 6. Gestió de residus
  - 6.1. Gestió de residus
- 7. Procés constructiu
  - 7.1. Fonaments
  - 7.2. Transport
  - 7.3. Fondeig
  - 7.4. Assemblatge

### **Document III. Plec de Condicions Tècniques**

### **Document IV. Pressupost**

- 4.1. Amidaments
- 4.2. Quadre de preus 1
- 4.3. Quadre de preus 2
- 4.4. Pressupost
- 4.5. Resum del pressupost i últim full

---

## **DOCUMENT I – MEMÒRIA I ANNEXES**

---



---

## MEMÒRIA

---





## Contingut

1.	Antecedents.....	7
1.1.	L'energia eòlica .....	7
1.2.	Estat de l'art.....	8
1.3.	El mercat de l'energia eòlica marina .....	8
1.4.	Projectes antercedents .....	8
2.	Objecte i justificació del projecte .....	10
3.	Emplaçament i batimetria .....	11
3.1.	Condicionants climàtics .....	11
3.2.	Condicionants físics.....	11
3.3.	Condicionants ambientals.....	12
3.4.	Condicionants socioeconòmics.....	12
3.5.	Emplaçament escollit.....	13
3.5.1.	Geomorfologia .....	13
3.5.2.	Sedimentació.....	14
3.5.3.	Condicions de vent .....	14
3.5.4.	Condicions d'onatge .....	16
4.	Anàlisi d'alternatives .....	17
4.1.	Plataforma suport d'aerogeneradors.....	17
	Alternativa 1: Semisumergible .....	17
	Alternativa 2: Tension Leg Platform .....	17
	Alternativa 3: Spar .....	17
4.2.	Sistema d'amarratge.....	17
4.2.1.	Sistemes de fondeig .....	17
	Alternativa 1: Catenària .....	17
	Alternativa 2: Taut Leg Mooring .....	18
	Alternativa 3: Semi Taut Mooring .....	18
4.2.2.	Sistemes d'ancoratge .....	18
	Alternativa 1: Àncores d'arrossegament .....	18
	Alternativa 2: Gravetat .....	18
	Alternativa 3: Pilots dirigits.....	18
	Alternativa 4: Pilots a succió .....	18
4.3.	Disposició en planta dels aerogeneradors .....	19
	Alternativa 1.....	19

Alternativa 2.....	19
Alternativa 3.....	19
4.4. Sistema de connexió i evacuació elèctrica.....	20
Alternativa 1: Connexió AC al voltatge del parc .....	20
Alternativa 2: Connexió AC amb transformador offshore .....	20
Alternativa 3: Connexió DC a alt voltatge (HVDC) .....	20
5. Descripció de la solució escollida .....	21
5.1. Aerogenerador escollit.....	21
5.2. Geometria i estructura de l'element flotant.....	21
5.3. Materials .....	23
5.4. Cables de fixació .....	23
5.5. Estructura de manteniment interior .....	23
5.6. Sistema d'evacuació de filtracions .....	24
5.7. Sistema d'evacuació elèctrica.....	24
5.8. Procés constructiu considerat.....	25
6. Descripció de les obres a realitzar .....	27
6.1. Estudis de viabilitat i impacte ambiental.....	27
6.2. Cablejat elèctric .....	27
6.3. Fonamentacions i moorings.....	27
6.4. Plataformes flotants .....	27
6.4.1. Esbrossada i preparació del terreny .....	27
6.4.2. Construcció del dic sec.....	27
6.4.3. Muntatge de la infraestructura de construcció.....	28
6.4.4. Construcció de les estructures flotants .....	28
6.4.5. Transport i fondeig.....	28
6.5. Subministrament d'aerogeneradors .....	28
6.6. Muntatge d'aerogeneradors.....	29
7. Estudi econòmic i viabilitat del projecte.....	30
8. Gestió de residus.....	32
9. Normativa i reglamentació d'aplicació.....	33
10. Pla d'obres .....	34
11. Estudi d'impacte ambiental.....	35
12. Seguretat i salut .....	36
13. Justificació de preus.....	37
14. Documents que integren el projecte .....	38
15. Firma del projectista .....	40





## 1. Antecedents

L'energia eòlica és una de les fonts d'energia renovables per les quals es disposa d'una tecnologia més madura; pel que fa a la seva explotació és tècnicament i econòmicament viable, en unes condicions de producció i cost competitives amb les fonts d'energia tradicionals (hidràulica, tèrmica o termonuclear).

Unes dècades ençà, hauria semblat impossible predir l'extraordinària potència generada per les màquines accionades pel vent. Avui en dia, l'extens nombre de turbines de vent instal·lades a la costa i al mar, estan injectant energia a les nostres xarxes elèctriques per a benefici de tots i ajudant-nos en aquesta nova era de les energies renovables.

El panorama energètic del planeta està canviant en els últims anys, en els quals s'està instal·lant un redireccionament de les polítiques energètiques en benefici del planeta i la salut dels éssers que l'habiten. S'està fent un esforç enorme per desenvolupar mètodes o sistemes amb els quals produir energia a partir de fonts naturals i a través de mètodes nets i eficaços. No només es tracta de l'esgotament de recursos, és evident que les reserves naturals de combustibles fòssils cada vegada són més escasses, sinó que també es tracta d'una crisi mediambiental en la qual tots els països del planeta es veuen implicats.

Ha arribat el moment de considerar seriosament la competitivitat, efectivitat i eficiència de les energies renovables. El principal avantatge d'aquest tipus d'energies és, evidentment, la reducció d'emissions a l'atmosfera, però aquesta està acompanyada d'una sèrie d'avantatges no menys importants: generació d'electricitat a petita escala, no necessiten combustibles fòssils, no produeixen residus en producció i operació, no impliquen problemes de seguretat a escala nacional, etc.

### 1.1. L'energia eòlica

Per analitzar la competitivitat de l'energia eòlica, s'ha de tenir en compte en primer lloc la capacitat dels seus aerogeneradors. Donat un lloc pla a terra, amb un bon règim de vent, la capacitat mitjana d'una turbina moderna estaria al voltant del 30% de la seva capacitat màxima. És a dir, un aerogenerador de 2MW produiria de mitjana aproximadament 0,6MW, funcionat de dia i de nit durant un any. Al llarg d'un any, un aerogenerador d'1 MW genera electricitat per al consum anual de 600 llars.

Aquest últim càlcul pot patir variacions per:

- La variació de producció anual d'una turbina.
- Les petites pèrdues durant la transmissió, especialment si els aerogeneradors estan situats a molta distància de les llars.
- L'augment del consum domèstic d'electricitat.
- La variació de consum elèctric depenent de la regió i el país.
- La variació de producció en eòlica marina.

## 1.2. Estat de l'art

El 2014, Europa va connectar fins 408 nous aerogeneradors offshore en 9 parcs eòlics i un projecte pilot amb una capacitat total de 1.483 MW. En aquest any s'han construït un total de 536 turbines que fan un total de 2.488 aerogeneradors acumulats fins a aquest any amb una capacitat acumulada total de 8.045,3 MW en 74 parcs eòlics en 11 països.

El Regne Unit té actualment la major quantitat de potència eòlica offshore a Europa (4.494,4 MW), el 55,9% del total d'instal·lacions. El segueix Dinamarca amb 1.271 MW (15,8%). Per darrere d'aquests dos gegants energètics es troben Alemanya amb el 13%, Bèlgica amb el 8,8%, Països Baixos (3,1%), Suècia (2,6%), Finlàndia (0,3%), Irlanda (25 MW), Espanya (5 MW), Noruega (2 MW) i Portugal (2 MW).

## 1.3. El mercat de l'energia eòlica marina

Siemens és l'empresa líder de fabricants d'aerogeneradors a Europa amb un 65,2% del total de la capacitat instal·lada. La segona empresa més gran del sector és MHI Vestas (amb un 20,5% del mercat), el segueixen Senvion (6,6%), BARD (5%), Areva (0,9%), WinWind (0,7 %) i GE (0,4%).

D'altra banda, DONG Energy manté la primera posició com el major propietari o gestor de parcs eòlics offshore, amb el 24,1% de les instal·lacions el 2014. La segueixen Vattenfall (10,5%), E.ON (7,3 %), RWE (8,7%), Centrica (5,5%), SSE (5,3%) i BARD (4,8%).

## 1.4. Projectes anteriors

### **Projecte Zèfir**

El projecte Zèfir va ser un projecte de parc eòlic flotant al Mar Mediterrani, a la costa tarragonina, que havia de ser la punta de llança dels projectes eòlics marins a l'Estat Espanyol, ha quedat paralitzada abans del seu desenvolupament, l'any 2013.

*Taula 1. Característiques del projecte Zèfir*

	Fase 1	Fase 2
<b>Profunditat</b>	40-45 m	>100 m
<b>Distància a la costa</b>	3 km	20 km
<b>Nombre de turbines</b>	4	8
<b>Potència instal·lada</b>	20 MW	50 MW
<b>Tipus de fonamentació</b>	Rígida	Flotant

### **Projecte Enrica**

En la zona del Cap de Creus, més concretament a la costa de Roses, existia un projecte en fase inicial d'un parc eòlic amb una capacitat prevista de 560 MW.

Taula 2. Característiques del projecte Enrica

Localització	Centre a 42,168° N 3,549 E
Estat actual del projecte	Cancel·lat
Operador	Blue H Technologies
Capacitat del parc	560 MW
Model aerogenerador	Blue H
Nombre de turbines	160
Cimentació	Flotant: Tension Leg Platform (SDP)
Profunditat	320-370 metres
Distància a la costa	26 km
Nombre d'habitatges subministrats	396.623
Estalvi de CO <sub>2</sub> anual	801.575 tones
Estalvi de SO <sub>2</sub> anual	18.641 tones

## **2. Objecte i justificació del projecte**

L'objecte del present projecte és el de definir, relacionar i estudiar les obres necessàries per a la construcció d'un parc eòlic flotant al mar Mediterrani i l'estudi o valoració econòmica del projecte per justificar-ne la viabilitat.

L'objectiu bàsic del projecte és el de relacionar diferents estudis i projectes de la mateixa índole i fer el pas entre el prototip i la construcció del parc sencer per estudiar-ne la seva viabilitat com a substitutiu energètic renovable i econòmic.

És clar i conegut el potencial eòlic d'algunes zones del Mar Mediterrani, recollit en diferents estudis tècnics, així com també l'elevat potencial de l'energia eòlica marina en comparació a la eòlica terrestre en el nostre país. L'estat de l'art de l'energia eòlica comença a agafar força en països del nord i centre d'Europa, on se n'han construït parcs molt grans.

L'elevat cost de l'energia elèctrica del país, conjuntament amb l'aturada de tot tipus d'ajudes a les energies elèctriques, creen la necessitat de trobar fonts d'energia neta però a la vegada competitiva amb la resta d'energies existents a la Península.

Des de la pròpia Escola de Camins de la UPC es va iniciar una tasca de recopilació d'informació i extracció del coneixement previ existent amb la redacció d'una tesina d'especialitat sobre el tema, continuant amb noves tesines que aprofundeixin més en aspectes particulars a tenir en compte.

La necessitat existent de recollir la informació de diferents tesines d'especialització i de projectes relacionats amb l'energia, han motivat la redacció d'aquest projecte global de parc, amb l'objectiu de relacionar-los i englobar-los en un de sol.



### 3. Emplaçament i batimetria

Per determinar l'emplaçament definitiu de l'obra s'han tingut en compte diferents criteris condicionants, els quals es llisten a continuació.

#### 3.1. Condicionants climàtics

El vent, conjuntament amb la batimetria, és el condicionant principal per a l'elecció de l'emplaçament òptim per a la situació del parc eòlic offshore.

S'han estudiat les diferent zones del mar Mediterrani amb un potencial eòlic major per a l'instal·lació del parc a partir de les dades facilitades pel ministeri d'Indústria, energia i turisme conjuntament amb l'Institut per a la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE).

El mapa eòlic espanyol es caracteritza per tenir quatre zones clares amb velocitats de vent superiors als 9 m/s a una alçada de 80 metres. Entre aquestes quatre zones es troba la del litoral català, més concretament a la costa gironina, al Cap de Creus, on trobem densitats de potència entre 700 i 800 W/m<sup>2</sup>. Serà aquesta zona amb altes densitats de potència eòlica on es disposarà el parc d'energia eòlica del present projecte.

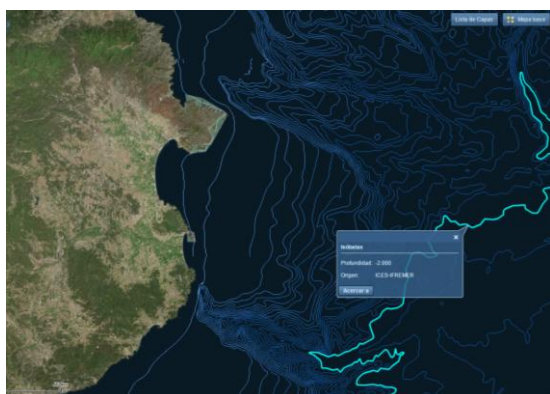
L'onatge és un factor important a tenir en compte en l'elecció de l'emplaçament òptim per a l'implementació de l'estructura escollida, però no és un factor limitant. El present projecte recull un estudi complet de l'anàlisi de l'onatge de l'emplaçament escollit a l'hora de realitzar el calcular estructural de l'element flotant, però no serà un condicionant a l'hora d'escollir-ne l'emplaçament.

#### 3.2. Condicionants físics

L'objectiu principal del projecte és el de construir un parc eòlic flotant al Mar Mediterrani. El condicionant físic més important és l'estat de l'art de la tecnologia de l'energia eòlica marina flotant.

S'ha considerat una limitació en la batimetria per a una cota de profunditat de 2.000 metres. Aquesta línia batimètrica marcarà la distància màxima a considerar com a possible emplaçament del present parc. A partir d'aquesta cota, es faria impossible a dia d'avui, tant l'estesa del cable elèctric com la construcció de la cimentació o amarratge.

*Figura 1. Batimetria de la zona estudiada*



### 3.3. Condicionants ambientals

Els ministeris de Medi Ambient, Medi Rural i Marí i Indústria, Turisme i Comerç han aprovat l'Estudi Estratègic Ambiental del litoral, la finalitat del qual és acotar i definir les zones aptes i les no aptes per a la instal·lació de parcs eòlics marins. L'anomenat "Mapa Eòlic Marí" està subscrit mitjançant una resolució conjunta de les secretaries generals del Mar i d'Energia a data de 20 d'Abril de 2009.

L'objectiu d'aquest estudi és determinar les zones del domini públic marítim-terrestre que, als sols efectes ambientals, reuneixen condicions favorables per a la ubicació d'instal·lacions eòliques marines. Per a això, s'han delimitat les zones d'exclusió i les zones aptes. Al seu torn, per a les zones aptes s'ha establert una gradació per a la implantació de parcs eòlics marins en funció dels condicionants ambientals.

No obstant, la Xarxa Europea Natura 2000, xarxa ecològica europea d'àrees de conservació de la biodiversitat, defineix les Zones Especials de Conservació (ZEC) i les Zones d'Especial Protecció per a les Aus (ZEPA), la finalitat de les quals és assegurar la supervivència a llarg termini de les espècies i els tipus d'hàbitat a Europa, contribuint a detenir la pèrdua de biodiversitat. Aquestes zones tenen una extensió superior a les zones definides pel Mapa Eòlic Marí del Ministeri, i per tant seran les que en determinaran l'exclusió del parc:

Figura 2. ZEPA Mar de l'Empordà

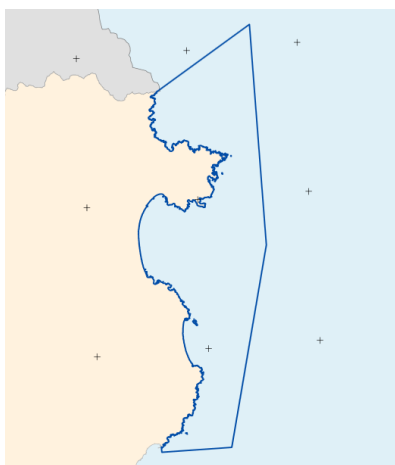


Figura 3. ZEC Canons del Cap de Creus



### 3.4. Condicionants socioeconòmics

Basant-se en estudis d'impacte ambiental realitzats per als parcs eòlics marins existents al Mar del Nord s'ha constatat que l'espai entre molins de vent i seus voltants immediats són llocs propensos a la cria de peixos al mar. La reducció del trànsit marítim a petita escala i els reduïts efectes ambientals que els molins generen en l'entorn marí generen un entorn d'aigües tranquil·les propens per al desenvolupament dels peixos.

S'han obtingut les zones de mar freqüentades per barques pesqueres degut a la seva riquesa pesquera a partir de l'Institut Español de Oceanografía, que s'han tingut en compte com a factors important però no determinant a l'hora d'escollir l'emplaçament definitiu del parc.

### 3.5. Emplaçament escollit

En base les consideracions de càlcul i condicionants de l'Annex 2 d'Emplaçament escollit, s'ha escollit un punt del Golf de Lleó a l'est del Cap de Creus sobre el Canó submarí de Bourcart com a emplaçament òptim per a la construcció del present parc.

El punt finalment escollit és el del punt SIMAR (de *Puertos del Estado*) 2130150, al Cap de Creus:

*Taula 3. Característiques de l'emplaçament escollit*

<b>Longitud</b>	3,83 E
<b>Latitud</b>	42,50 N
<b>Profunditat</b>	-750 m
<b>Proximitat a la costa</b>	46 km

L'emplaçament escollit, gaudeix d'unes característiques immillorables, ja que per una banda té un potencial eòlic molt gran, amb vents superiors a 9 m/s i per altra banda, les condicions d'onatge són força inferiors a altres zones de l'Oceà Atlàntic o els Mars del Nord, cosa que suposa una avantatge en el cost d'infraestructura.

#### 3.5.1. Geomorfologia

La ubicació del present projecte es troba a la Xarxa de Canons Submarins del Golf de Lleó, al nord-est de la Península Ibèrica i al sud de França. Aquesta xarxa de canons s'exten des del Cap de Creus fins a la localitat francesa de Tolón.

El marge continental del Golf de Lleó es caracteritza per tenir un plataforma continental inusualment àmplia, tot i trobar-se a la conca Mediterrània, arribant a longituds de fins a 72 metres als seus punts més amples. L'extrem de la plataforma es troba incidit per un entramat de canons submarins que convergeixen a la base del talús continental, arribant a profunditats de fins a 2.000 metres. A causa de diferències en l'amplitud de la plataforma al llarg del marge continental, alguns d'aquests canons es troben relativament a prop de la costa, com és el cas del canó del Cap de Creus.

*Figura 4. Geomorfologia dels canons submarins del Golf de Lleó*

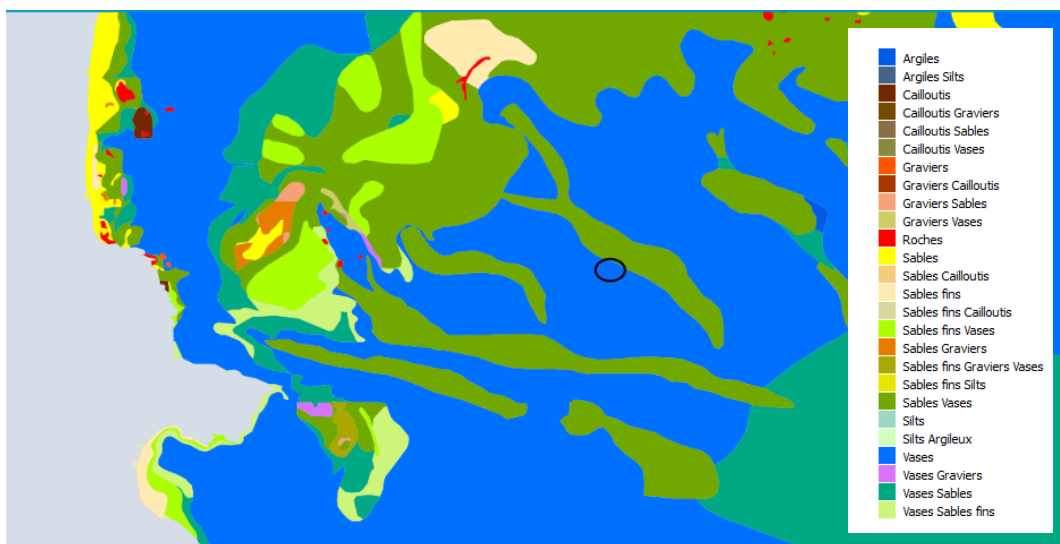


El parc eòlic marí considerat està situat al petit Canó de Pruvot, entre els canons de Boucart i Lacaze-Duthiers. Tots els canons del Golf de Lleó tenen unes característiques similars. Els talussos continentals s'endinsen en les profunditats de forma molt ràpida, i en pocs centenars de metres aconseguen profunditats més enllà dels 700 metres. El present parc eòlic es troba profunditat de 750 metres.

### 3.5.2. Sedimentació

El règim de corrents dominants en el Sistema de canons occidentals del Golf de Lleó condiciona en gran part els processos sedimentaris que s'observen a la plataforma. La presència de forts corrents de fons en direcció sud-oest impulsen un transport de llims que s'acumulen a la zona de la plataforma propera a la costa i a les zones més allunyades de la mateixa. L'acceleració del corrent a la zona mitjana de la plataforma dona com a resultat que dominin els fons detrítics costaners a la cara nord del cap de Creus i en una àmplia zona de la cara est i sud.

Figura 5. Mapa sedimentació zona d'estudi



Les coordenades de la ubicació del present parc eòlic marí al litoral català (42,5°N i 3,83°E) i l'àrea al voltant d'aquest punt està format en la seva majoria per llims i sòls fins.

### 3.5.3. Condicions de vent

Per calcular la velocitat mitjana de vent de manera acurada, es disposa de les dades del punt SIMAR-44 2130150 en coordenades 42,5°N i 3,83°E que és també el punt d'ubicació del present parc d'energia eòlica.

Aquest punt corresponent a les dades de la xarxa de boies de "Puertos del Estado", disposa de dades d'onatge i vent des de l'any 1958 però al present Annex s'analitzen les dades dels últims 8 anys, del 2007 fins el 2014.

Dins d'aquesta base de dades del punt SIMAR-44 a estudiar, que s'obté mitjançant una sol·licitud a "Puertos del Estado", es poden observar dos tipus de fluctuació: anual i diària. Habitualment els valors de vent oscil·len entre 5 i 13 m/s amb una mitjana de gairebé 8 m/s.

Si es realitza l'anàlisi dels últims 8 anys, fent la mitjana entre tots ells s'obtenen els següents valors:

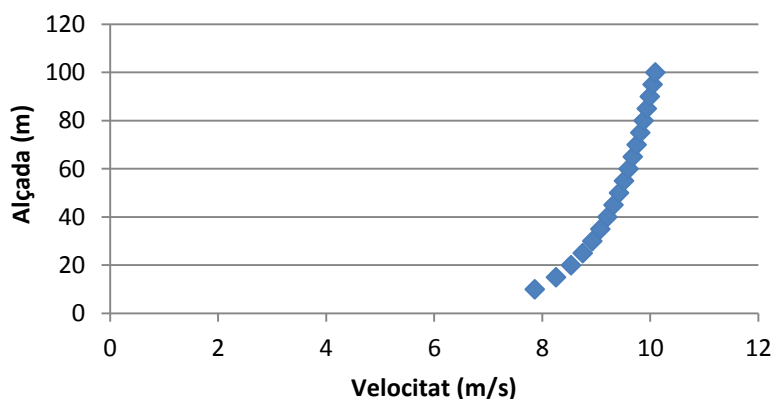
*Taula 4. Valors de vent al punt d'estudi a cota +10m (2008-2014)*

	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
0	9,171	9,474	8,906	7,190	7,558	7,419	7,498	6,746	7,154	7,927	9,428	10,419
3	9,150	9,730	8,896	7,486	7,594	7,414	7,482	6,843	7,332	8,089	9,530	10,396
6	8,860	9,473	9,063	7,552	7,639	7,227	7,346	6,746	7,367	8,136	9,425	10,119
9	8,869	9,576	9,190	7,661	7,451	7,116	7,255	6,915	7,408	8,232	9,424	10,062
12	8,374	9,075	8,199	6,456	6,202	5,601	5,601	5,126	6,312	7,311	8,891	9,544
15	8,466	9,079	8,093	6,650	6,522	5,441	5,640	4,912	6,073	7,477	9,131	9,711
18	8,576	9,346	8,089	6,883	6,941	6,358	6,343	5,597	6,058	7,361	9,165	9,876
21	8,857	9,793	8,371	7,092	7,314	6,691	6,640	6,149	6,577	7,693	9,405	10,132

S'observa clarament com els mesos d'hivern, Novembre, Desembre, Gener, Febrer i Març són els que tenen un potencial energètic més gran. Tot i això, s'estima que en cada any aquests valors es puguin sortir de la mitjana.

Per altra banda, cal tenir en compte que les dades de mesura preses en el punt SIMAR 44 2130150 per part de Puertos del Estado, es consideren a 10 metres del nivell del mar i la turbina es situa a un mínim de 90 metres d'aquest nivell. Per tal d'adaptar-ho s'ha elaborat una corba logarítmica com la aplicada per la normativa europea per al càlcul de vent a l'Annex 4.2.

*Figura 6. Vent en funció de l'alçada al punt escollit*



Amb aquesta progressió, el vent augmenta en un 27% entre els 10 metres i els 90 del nivell del mar. Amb aquest canvi, els valors de vent serien els següents:

*Taula 5. Valors de vent al punt d'estudi a cota +90m (2008-2014)*

	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
0	11,655	12,041	11,318	9,137	9,605	9,428	9,529	8,573	9,092	10,074	11,982	13,241
3	11,629	12,365	11,306	9,514	9,651	9,423	9,508	8,697	9,318	10,280	12,111	13,212
6	11,259	12,039	11,518	9,597	9,708	9,185	9,336	8,573	9,362	10,340	11,978	12,860
9	11,272	12,170	11,679	9,736	9,470	9,043	9,220	8,788	9,414	10,461	11,977	12,788

12	10,642	11,533	10,419	8,205	7,882	7,119	7,118	6,514	8,022	9,291	11,300	12,130
15	10,759	11,538	10,285	8,451	8,289	6,915	7,168	6,243	7,718	9,502	11,604	12,341
18	10,899	11,878	10,280	8,748	8,822	8,081	8,061	7,113	7,699	9,355	11,647	12,551
21	11,257	12,446	10,638	9,012	9,295	8,503	8,439	7,814	8,358	9,777	11,953	12,876

En l'estructura dissenyada, el vent actua sobre ella durant el transport des del port fins a l'emplaçament definitiu, on serà fondejada i només uns 15 m d'alçada sobresortiran per sobre del nivell del mar.

D'altra banda a cota + 50m sobre el nivell del mar es considera una velocitat mitjana de 10 m/s, que per raons de seguretat s'ampliarà fins als 20 m / s per tenir en compte possibles efectes de ràfegues o puntes de vent durant el transport.

Tot i això es consideren els valors obtinguts seguint el procés de càlcul de la ROM 0,4-95 i l'Eurocodi 1, part 1.4, obtenint els següents valors:

#### *Velocitats de projecte en condicions extremes*

- $v_{p,15s,225a,+00m} = 45,55 \frac{m}{s}$
- $v_{p,15s,225a,+100m} = 58,48 \frac{m}{s}$

#### *Velocitats de projecte en fase de construcció*

- $v_{p,15s,225a,+15m} = 38,00 \frac{m}{s}$

### **3.5.4. Condicions d'onatge**

Ports de l'Estat disposa d'una àmplia xarxa que proporciona dades d'onatge i vent al llarg de la costa espanyola.

De cara al present projecte, considerant que l'emplaçament definitiu de l'estructura es troba allunyada de la costa, s'han analitzat els valors de les xarxes REDEXT, Wana i SIMAR-44.

Als voltants de l'emplaçament definitiu de l'estructura es troben els punts WANNA 2130150 i SIMAR-44 2130150. Els dos punts es troben davant de la costa del Cap de Creus, en les coordenades 42,50° N, 3,83° E.

El punt WANNA registra dades des de 1996 mentre que el punt SIMAR-44 ja no és operatiu però ha registrat dades de 1958 a 2001.

#### *Règim mig d'onatge*

- $H_s = 1,5 \text{ m}$
- $T_p = 6,1 \text{ s}$

#### *Règim extremal d'onatge*

- $H_s = 8,4 \text{ m}$
- $T_p = 10,3 \text{ s}$



## 4. Anàlisi d'alternatives

Un parc eòlic offshore està format per diferents elements, tots ells ocupant una part important del pressupost de l'obra. Per aquest motiu, és important escollir la millor opció per a cadascun d'aquests elements (plataforma, sistema de fondeig, ancoratges, evacuació elèctrica i aerogenerador) per tal d'optimitzar les condicions del parc.

### 4.1. Plataforma suport d'aerogeneradors

#### Alternativa 1: Semisumergible

Aquestes estructures basen la seva flotació i estabilitat en la disposició de 3 o més columnes de poca longitud que s'omplen parcialment d'aigua i material sòlid, de forma que es controla la línia de flotació de cada columna bombejant aigua entre elles, garantint la seva estabilitat controlant per separat la flotació en els diferents punts de recolzament.

#### Alternativa 2: Tension Leg Platform

La tipologia TLP (Tension Leg Platform) és un híbrid entre les estructures flotants i les fixades al fons directament. Es basen en mantenir submergit un volum que genera una flotació major que el seu pes i contrarestar aquest excés de flotació mitjançant diverses línies de cables verticals que es fixen al fons marí. Amb aquesta configuració es garanteix la flotació en qualsevol cas però s'hipoteca l'estabilitat al funcionament òptim dels cables de fixació, que d'altra banda també presenten sistemes actius de control sobre la tensió en aquests.

#### Alternativa 3: Spar

És la tipologia finalment escollida. La tipologia SPAR està caracteritzada per una petita àrea sobre el pla de la superfície de l'aigua, basant la seva flotació en un element esvelt submergit. Garanteix l'estabilitat mitjançant un efecte pèndul, concentrant una gran quantitat de massa en la zona inferior de forma que el Centre de Gravetat de l'estructura es situï el més profund possible i maximitzar el parell de forces estabilitzadores que es generen entre la flotació i el pes propi.

D'aquesta forma, el sistema contraresta les accions horitzontals i els moments generats per les accions externes a través d'una certa inclinació " $\alpha$ " que mobilitza un moment generat per les forces de flotació " $F$ " i el pes total " $WTOT$ " amb un braç " $MC$ ".

El disseny de l'estructura es realitza de forma que es maximitzi la distància " $MC$ ", mantenint el Centre de Flotació el més superficial possible i el Centre de Gravetat el més profund possible.

### 4.2. Sistema d'amarratge

#### 4.2.1. Sistemes de fondeig

##### Alternativa 1: Catenària

És el sistema de fondeig més comú, utilitzant cadenes per assegurar les estructures semisumergibles, Spar o híbrides. Els cables d'amarratge del sistema tipus catenària

són molt més llargs i pesats que els semi taut i els taut moorings, per tant el seu cost per unitat també és més gran, així com també la seva petjada ecològica.

### **Alternativa 2: Taut Leg Mooring**

El Taut Leg Mooring, és també anomenat de cama tensa. Aquest sistema d'amarratge està format per cables d'acer tensats, i és el tipus més utilitzat per a les plataformes TLP. El seu pes i llargada és 20 vegades menor que en la catenària i per tant, també ho és la seva petjada ecològica i el preu per unitat.

### **Alternativa 3: Semi Taut Mooring**

És el sistema finalment escollit pel present projecte, es tracta d'un sistema de fondeig intermig entre els dos anteriors. Format per cables d'amarratge recoberts de fibres sintètiques. El pes i la llargada és intermig entre les catenàries i les TLM i el cost és lleugerament menor a les primeres. En el cas d'una tipologia de plataforma flotant Spar, el mètode TLM queda totalment descartat.

#### **4.2.2. Sistemes d'ancoratge**

##### **Alternativa 1: Àncores d'arrossegament**

Les àncores d'arrossegament segueixen un sistema semblant a les àncores dels grans vaixells però a un nivell més gran. S'apliquen el terrenys cohesius i la força aplicada és horitzontal. La instal·lació no requereix de gaires costos ni complicacions i en cas de desmantellament és fàcilment recuperable. Té un cost final baix.

##### **Alternativa 2: Gravat**

El sistema d'amarratge de gravat consisteix en deixar caure un bloc de formigó enorme, on es lligaran les diferents catenàries. S'aplica en sòls durs o mitjans i la força aplicada és normalment vertical. La instal·lació requereix de costos elevats i en cas de desmantellament és difícilment recuperable. Té un cost final mig.

##### **Alternativa 3: Pilots dirigits**

Els pilots dirigits tenen un rang ampli d'aplicació en diferents tipus de sòl, però amb una millor resposta en sòls durs i la força aplicada és vertical o horitzontal. Durant la instal·lació es produeixen grans sorolls i per tant té un impacte ecològic important sobre els cetacis. És de difícil extracció en cas de desmantellament i el cost final és alt.

##### **Alternativa 4: Pilots a succió**

És l'alternativa finalment escollida. És d'aplicació limitada a terrenys tous, no aplicable en sorres o sòls durs. La força aplicada és vertical o horitzontal. El tipus d'instal·lació que es fa servir és simple i poc invasiva i a més és de fàcil extracció en cas de desmantellament. El cost final de la cimentació es mig.

Degut a la tipologia de sòl de la ubicació escollida, i la seva topografia, així com també del baix impacte ecològic de la cimentació, s'ha escollida la tipologia de pilots succionats.

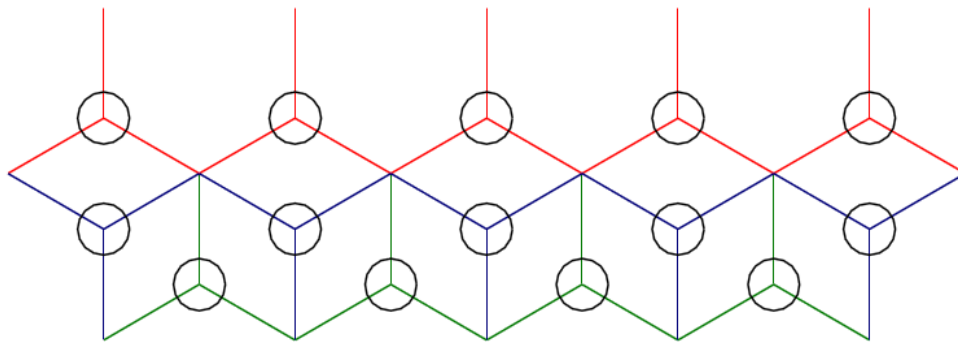


### 4.3. Disposició en planta dels aerogeneradors

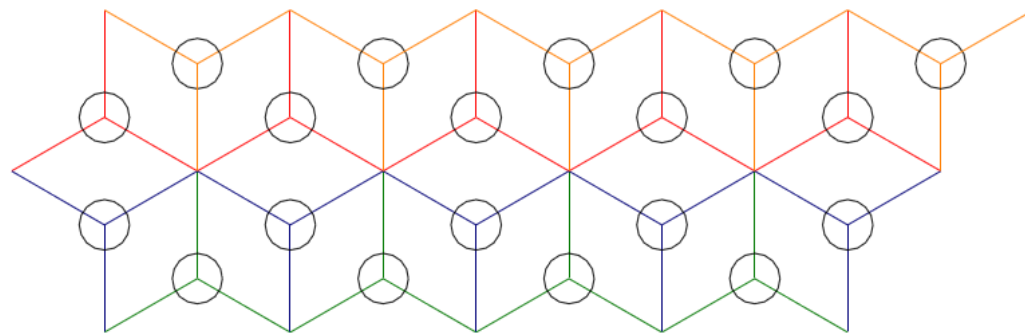
La distribució en planta dels aerogeneradors eòlics és un factor essencial que influeix en l'eficiència del parc eòlic i els costos de la infraestructura en sí. Tal i com s'explica en l'Annex 3, una disposició integral de l'ancoratge, permet la reducció del nombre de moorings però redueix el rendiment de la planta i viceversa. Per tant, cal arribar a un compromís entre ambdós extrems.

S'han estudiat 3 tipus de disposicions en planta:

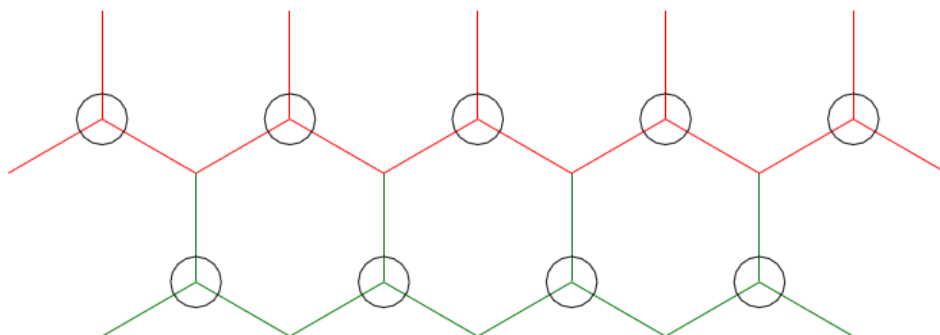
#### Alternativa 1



#### Alternativa 2



#### Alternativa 3



Es fa evident, que la disposició òptima dels aerogeneradors per estalviar ancoratges és la disposició 2, en 4 files, però en aquest cas la distància entre aerogeneradors és massa reduïda i pot ocasionar pèrdues de rendiment molt importants.

Finalment s'opta per una disposició de tipus 3, ja que els costos estalviats pel nombre d'ancoratges són elevats i a la vegada es manté una distància òptima entre aerogeneradors per assegurar-ne el rendiment. Al plànol 2.1 de Disposició en Planta dels aerogeneradors, es mostra la disposició finalment escollida.

#### **4.4. Sistema de connexió i evacuació elèctrica**

L'energia produïda en un parc d'energia eòlica marí ha de ser transportada cap a un punt de connexió elèctrica existent de la xarxa pública elèctrica a terra. La única possibilitat de fer-ho és a través de cablejat. Donades les llargues distàncies entre els parcs eòlics i la costa, la connexió per sobre el nivell del mar es descarta degut a l'alt nombre d'estructures necessàries i l'elevat cost econòmic i ambiental que això suposaria. La manera més comú de fer-ho és a través de cablejat subterrani.

##### **Alternativa 1: Connexió AC al voltatge del parc**

Una de les connexions a terra més utilitzades en aquest tipus d'infraestructura són amb corrent altern i voltatge del parc. Habitualment les connexions de la xarxa interna del parc es fan amb un voltatge mitjà ( $1\text{kV} < \text{MV} < 50\text{kV}$ ), habitualment 22kV o 34kV. Aquest tipus de connexió s'utilitza per evitar el fet de construir un transformador offshore, que eleva el cost final de la estructura.

La xarxa pública integral d'electricitat treballa a un voltatge elevat ( $\text{HV} > 50\text{kV}$ ) i per tant, caldria construir un transformador a terra per després connectar-lo a la xarxa, però el cost d'aquesta seria considerablement més reduït que al mig del mar.

##### **Alternativa 2: Connexió AC amb transformador offshore**

El sistema d'evacuació finalment escollit. Per tal de reduir les pèrdues d'energia en transport, la manera més comú de fer-ho és elevat el voltatge, ja que les pèrdues d'Ohm depenen de la intensitat de corrent al quadrat.

Per elevar la corrent cal un transformador. Amb aquest es redueixen ostensiblement les pèrdues de transmissió però es fa necessari una estació offshore amb un cost molt elevat. En aquest cas, la llargada de la transmissió ja no queda lligada a la resistència d'Ohm sinó a la capacitat d'aïllament dels cables. Les transmissions a alta voltatge (AC) es limiten a distàncies de 100 km.

##### **Alternativa 3: Connexió DC a alt voltatge (HVDC)**

Per cobrir distàncies superiors a 100 km, s'ha de convertir la transmissió de corrent altern a corrent continu. I per després connectar amb la xarxa elèctrica de terra tornar a transformar a corrent altern.

L'avantatge principal d'aquest sistema d'evacuació elèctrica, és que es poden cobrir distàncies molt grans sense grans pèrdues d'energia. El principal inconvenient és la necessitat de construir o habilitar 2 transformadors, un offshore amb la seva corresponent estació i un a terra.

## 5. Descripció de la solució escollida

En aquest apartat es descriu la solució adoptada i les singularitats que presenta.

### 5.1. Aerogenerador escollit

Per al present parc s'ha escollit els aerogeneradors VESTAS de 8MW, els qual tenen la capacitat nominal més gran del moment. Aquest aerogenerador té les següents característiques:

*Taula 6. Dades de l'aerogenerador escollit*

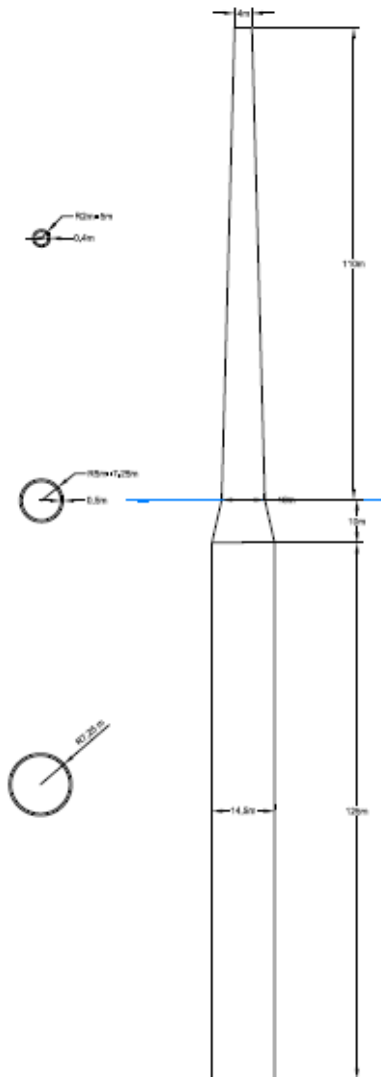
Infomació general	
Nom comercial	V164-8.0 MW
Fabricant	MHI Vestas Offshore Wind
Any de comercialització	2015
Capacitat nominal	8 MW
Rang d'operació	4 – 25 m/s
Rotor	
Diàmetre	164 m
Àrea de batuda	21.124 m <sup>2</sup>
Densitat de potència	2,64 m <sup>2</sup> /kW
Tipus de generador elèctric	Medium-speed permanent magnet generator
Voltatge de sortida	MV
Freqüència	50 Hz
Pales	
Llargada	80 m
Nombre	3
Pes	35 t
Gòndola	
Alçada	8 m
Llargada	20 m
Amplada	8 m
Pes	390 t

Per tal de garantir el subministrament de les pales i les gòndoles, l'empresa Vestas disposa d'una planta de manufactura de pales a Villadango del Páramo i de subministrament de gòndoles a Daimiel, dins l'Estat Espanyol.

### 5.2. Geometria i estructura de l'element flotant

El disseny de la solució adoptada es basa en la forma més bàsica dins de la tipologia SPAR, un tram inferior cilíndric vertical de 125 m de longitud i 14,5 m de diàmetre exterior, amb un espessor constant de 50 cm, que fa les funcions d'element flotador, amb un tram superior troncocònic de 110m d'alçada, diàmetre 10m a la base, 4m en coronació i un espessor constant de 40cm i una zona de transició de 10 m de calat amb un espessor de 50cm i un diàmetre exterior de 14,5 m en la base i 10 m en la coronació. En condicions de repòs presenta un calat d'aproximadament 245m.

Figura 7. Detall plànel 3.1



El tram inferior del cilindre es remata amb un casquet semiesfèric sobre la concavitat del qual s'hi afegeixen 12.000 tones de material granular de llastrat de densitat 25kN/m<sup>3</sup> per tal de mantenir el centre de gravetat el més baix possible. La totalitat de l'estructura s'ha dissenyat precomprimida amb armadures actives posttenses, amb una disposició perimetral simètrica de cordons, dels quals 2 creuen l'estructura simètricament a través de la superfície del casquet semiesfèric inferior.

Degut a la longitud de l'element i la distribució d'esforços que s'hi presenta, s'han dissenyat dos trams d'armadures actives. Un primer tram amb 24 tendons formats per 23 cordons de 0,6" cadascun, essent el més llarg, que recorre des de la coronació de l'estructura fins a uns 80m d'aquesta, finalitzant de forma alterna el recorregut dels tendons per evitar al màxim les concentracions de tensions. El segon tram s'inicia a uns 70m de la coronació, format per 24 tendons de 15 cordons de 0,6" cadascun, recorrent tot el tram inferior i finalitzant el seu recorregut de forma alterna fins que els 4 últims tendons es creuen per la base semiesfèrica, donant continuïtat a la compressió del pretensat per tota l'estructura.

La connexió entre la torre de formigó i la placa metàl·lica d'acoblament de l'aerogenerador s'ha resolt amb una corona metàl·lica fixada al cap de l'estructura a través dels ancoratges de les armadures actives, servint alhora com a placa d'unió a l'aerogenerador i com a placa de repartiment dels ancoratges sobre el formigó.

### 5.3. Materials

Els materials considerats en aquest projecte bàsic són:

*Taula 7. Materials utilitzats per l'estructura*

	MATERIAL	γs
Formigó	HP-40/P/20/IIIc-Qb amb fum de sílice	1,5
Armadures passives	B-500-S	1,15
Armadures actives	Y-1860 S7	1,15

Com s'ha enunciat anteriorment, el disseny contempla l'addició de 12.000 tones de pes de llustrat mitjançant material granular de densitat  $25 \text{ kN/m}^3$ , com ara la mena de ferro, de preu poc elevat i sense riscos mediambiental en cas de vessament.

El formigó considerat i els acers es mostren en la següent taula. L'addició de fum de sílice es deu a la seva contribució a la compacitat del formigó resultant, obtenint una millora en la resistència i la impermeabilitat d'aquest.

### 5.4. Cables de fixació

La fixació espacial de l'estructura s'ha realitzat mitjançant una corda de cables d'acer galvanitzats. Aquest tipus de fixació permet limitar el desplaçament de deriva de l'estructura i alhora permet aportar una certa acció estabilitzadora en front el moment desestabilitzador provocat per les accions externes i el pes propi.

En el model s'ha considerat una secció Dyform DB2K de cables amb secció  $D=95,3 \text{ mm}$ . Aquests valors corresponen a seccions formades per una espiral de 7 tendons amb 36 cables d'acer galvanitzats i engrassats cadascun. La seva força de ruptura és de  $7.856 \text{ kN}$ .

*Taula 8. Tipus de fixació a utilitzar*

	Nº cordons	Àrea metàl·lica	Diàmetre
S1	6x36	47,08 cm <sup>2</sup>	95,3 mm

### 5.5. Estructura de manteniment interior

Amb la idea de garantir l'accés a totes les cotes possibles per a la seva futura inspecció o manteniment, s'ha dissenyat un sistema de plataformes cada 8m d'alçada aproximadament que permet als operaris accedir a totes les cotes de l'estructura. El sistema disposa de dos ascensors diferenciats en dos trams i tots ells es troben connectats per escales de gat. En la part central existeix el buit de forma que en el tram superior s'hi col·loca l'ascensor i en el tram inferior, més ampli, permet la futura addició del material de llustrat.

La porta d'accés a l'estructura es troba a 10m sobre el NMM en cas de condicions de repòs. La secció corresponent presenta una plataforma perimetral tant exterior com interior.

## 5.6. Sistema d'evacuació de filtracions

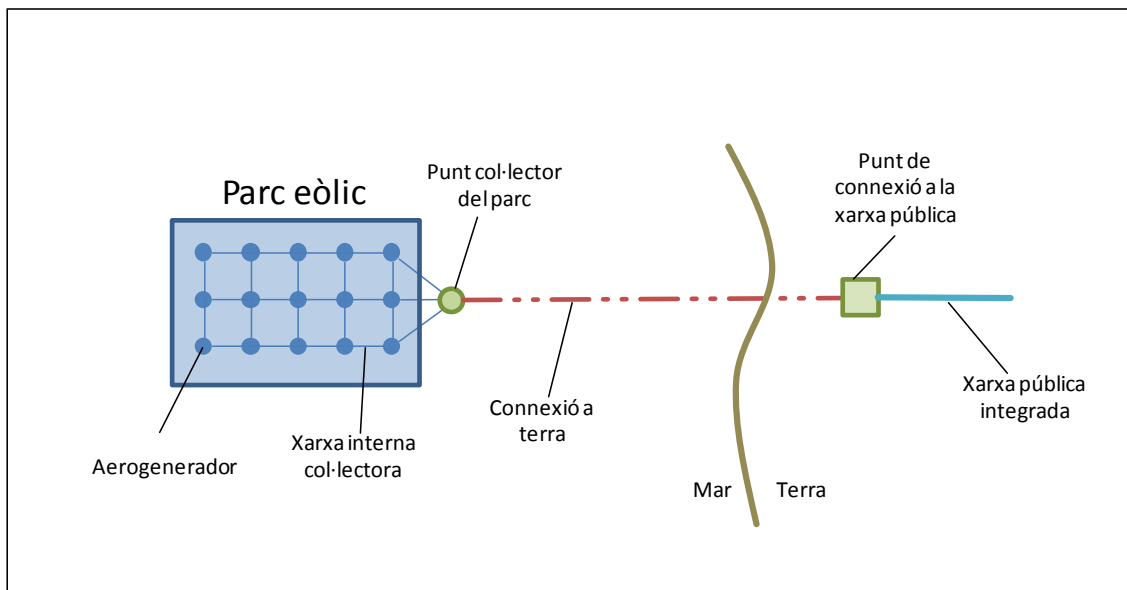
S'ha previst la incorporació d'un sistema d'extracció d'aigua en el fons del cilindre de forma que la petita filtració d'aigua que acabi per penetrar en el formigó pugui ser evacuada sense problemes a l'exterior, mitjançant bombes d'impulsió de potència suficient per elevar l'aigua fins uns 200m.

La recollida d'aigua i ubicació de la bomba es preveu en una reixa metàl·lica protectora embeguda entre el material de llustrat i situada en el parament del cilindre.

## 5.7. Sistema d'evacuació elèctrica

El parc eòlic del present projecte consisteix en conjunts d'aerogeneradors units entre sí. L'energia produïda pel parc es recull dins d'aquest conjunt de turbines i es transporta a la costa a un punt de connexió a la xarxa, on l'electricitat és lliurada a la xarxa pública integral. En la següent figura es pot veure una esquema del seu funcionament.

Figura 8. Esquema del sistema d'evacuació elèctrica



Un parc eòlic marí implica nombroses connexions dels cables, la majoria d'ells per a la recollida d'energia. Aquestes connexions tenen impacte en la producció anual, el funcionament, la fiabilitat i la instal·lació del parc eòlic. El concepte dels parcs eòlics marins és relativament nou, molts dels seus aspectes estan encara per ser optimitzats per tal de garantir l'èxit en el futur. La construcció es realitza principalment amb el coneixement i l'experiència de la indústria de petroli en alta mar, però la connexió d'una enorme quantitat de turbines individuals és una tasca que no s'ha realitzat en operacions offshore recents i per tant el coneixement actual és força menor.

El sistema de connexió i evacuació del parc eòlic està format per 4 parts principals

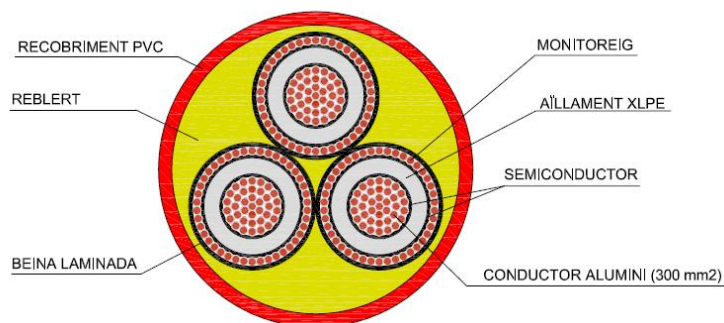
- Cablejat intern: És aquell cablejat que uneix els aerogeneradors amb la subestació o punt de col·lector del parc.
- Línia d'evacuació: Generalment, línia de alta tensió que uneix el punt col·lector de la xarxa d'aerogeneradors amb el punt de connexió a la xarxa elèctrica pública a terra. La seva capacitat vindrà donada segons la capacitat final del parc i en determinarà el nombre de cables.
- Punt de connexió a terra: És el punt d'on parteix la línia d'evacuació a terra. Normalment és una subestació, en la que s'ubiquen els transformadors.
- Punt de connexió a la xarxa: Punt on arriba la línia d'evacuació del parc.

Per tal de realitzar la evacuació del parc s'ha escollit una connexió en corrent altern amb una estació transformadora de mitja a alta tensió offshore. Aquesta estació estarà annexionada a un dels aerogeneradors.

Per al present projecte s'ha escollit una evacuació de l'energia elèctrica mitjançant un cablejat de tres nuclis conductors tipus XLPE amb protecció de PVC. Per al cablejat intern farà falta 1 cable amb conductors amb seccions de  $120 \text{ mm}^2$  i per al transport des de l'estació fins a Llançà amb 2 cables amb tres nuclis de seccions de  $300 \text{ mm}^2$  d'alumini pel conductor.

Per a l'estesa i soterrament del cable es farà servir el mètode trenching mitjançant el Capjet de l'empresa noruega NEXANS SA.

*Figura 9. Detall plànol 4.1 de Sistema d'evacuació elèctrica*



## 5.8. Procés constructiu considerat

En l'annex de procés constructiu es detallen les diferents fases constructives considerades per a l'execució, transport i fondeig de l'estructura. Tot seguit s'enumeren aquestes fases:

- Estudis de viabilitat i impacte ambiental
- Cablejat elèctric
  - Fase 1: Estudi de fons marí
  - Fase 2: Estesa de cable
  - Fase 3: Posada a punt i proves
- Fonamentacions i *moorings*
  - Fase 1: Fabricació de cademat
  - Fase 2: Estudis previs pilots
  - Fase 3: Construcció de pilots

- Fase 4: Instal·lació de pilots
- Estructures flotants
  - Fase 1: Enginyeria de plataformes
  - Fase 2: Preparació del dic Sud al Port de Barcelona
  - Fase 3: Assajos en canal
  - Fase 4: Construcció de plataformes en grups de 3
  - Fase 5: Transport i fondeig de plataformes en grups de 3
- Subministrament d'aerogeneradors
- Assemblatge d'aerogeneradors



## 6. Descripció de les obres a realitzar

En aquest apartat es detallen les diferents operacions a realitzar durant l'execució de les obres. Els terminis i dates del calendari de l'obra queden establerts en l'Annex 7.

### 6.1. Estudis de viabilitat i impacte ambiental

El dia d'inici del projecte es comencen els estudis previs d'impacte ambiental i de viabilitat del projecte. Una fase important d'aquest procés és instal·lar una torre de medició durant un any per tenir dades més precises de vents, corrents i onatges. Com que actualment no existeixen torres de medició flotants, excepte un projecte al Mar Cantàbric dirigit per IDERMAR, s'instal·larà una boia de medició, aprofitant alguna de les boies del XIOM, actualment sense ús.

També es comença una campanya per recopilar informació sobre l'estat del fons marí. Existeixen molts estudis dels canons del Cap de Creus, però caldria precisar la informació per l'ubicació seleccionada del parc.

### 6.2. Cablejat elèctric

L'enginyeria de cable és la més limitada en quant a terminis.

La part més crítica és l'estudi del fons marí per al traçat del cable fins a la costa, el dimensionament de la subestació i desenvolupament d'enginyeria de connexió del cablejat intern de 8 MW als dos cables d'evacuació de 120 MW.

L'estesa del cable es farà mitjançant un buc de cablejat. Aquest buc durà a bord un aparell Capjet que realitzarà el soterrament del cablejat elèctric a mesura que s'estén sobre el llit marí.

El cable serà enterrat a 1,5 metres del fons marí, ja que el sòl està format per argiles i sorres (en la zona costera).

### 6.3. Fonamentacions i moorings

La instal·lació dels pilots marca una fita molt important ja que a partir d'aquí es comença la resta de processos: línies de fondeig i plataformes.

La construcció de pilots i cademat queda a càrrec de l'empresa contractada i caldrà disposar d'un espai al mateix dic del port per poder realitzar el seu fondeig.

### 6.4. Plataformes flotants

#### 6.4.1. Esbrossada i preparació del terreny

Les tasques en aquesta fase corresponen al condicionament de la superfície per a l'inici de les obres del dic sec.

#### 6.4.2. Construcció del dic sec

Un cop condicionats els terrenys on s'ubicarà l'obra, es construirà un dic sec de 300m de longitud i 60m d'amplada, amb una fondària de 8,5m.

La construcció es realitzarà amb doble palplanxa de secció en forma de doble U en caixó, de forma que s'aconsegueixi el doble d'inèrcia. A mitja alçada es situaran ancoratges actius sobre el terreny amb un interval de 5m.

Un cop finalitzada l'excavació, el fons de la mateixa es recobrirà amb 50cm de grava drenant i un sistema de recollida d'aigües embegut en la grava que condueixin les aigües filtrades inferiorment fins el punt d'extracció amb bombes.

Sobre la capa de grava es construirà una llosa de formigó d'1m de gruix, amb doble funció, assegurar una superfície òptima per a les tasques de construcció i afegir pes sobre el fons de l'excavació per evitar problemes de sifonament.

#### **6.4.3. Muntatge de la infraestructura de construcció**

Un cop es disposi del dic sec construït, es realitzarà tot el muntatge de la infraestructura necessària per a la construcció de l'estructura flotant al seu voltant. Bàsicament es tracta de l'establiment d'una planta de formigonat a peu d'obra i tots els tallers i/o elements auxiliars que calgui disposar.

#### **6.4.4. Construcció de les estructures flotants**

En l'interior del dic sec s'hi preveu la construcció de tres estructures simultàniament mitjançant la utilització d'un sistema d'encofrat especial que permeti el formigonat de l'estructura en trams d'uns 9m, fent avançar l'encofrat en cada operació de formigonat, a mode d'encofrat trepant horitzontal.

Encara en el dic sec, es procedirà a la construcció de l'estructura metàl·lica interior en la màxima mesura del possible, minimitzant al màxim el nombre d'operacions necessàries de muntatge un cop fondejada l'estructura.

La connexió dels cables a l'estructura es realitzarà durant aquesta fase, de forma que durant el transport i fins al punt de fondeig, els cables es trobaran fixats a l'estructura en un dels seus extrems i en l'altre romandran suportats per una boia o similar, quedant recollit sobre si mateix la resta de cable.

#### **6.4.5. Transport i fondeig**

Es transportarà l'estructura i els cables per mar mitjançant remolcadors. Un cop transportada fins el punt de fondeig inicial, es procedirà a l'enfonsament de la mateixa i al seu posicionament en vertical. En aquesta fase s'hi afegirà el material de llastrat.

### **6.5. Subministrament d'aerogeneradors**

La drassana ha de preparar una zona de recepció de gòndoles i pales per al transport a l'emplaçament. La capacitat d'aquesta zona ha de ser tal que càpiguen 3 gòndoles i 9 pales, de manera que per cada tanda de plataformes es disposi d'aquests equips i un cop instal·lats arribin els de les següents. Els costos dels aerogeneradors inclouen les gòndoles i les pales. Hi ha la possibilitat de disminuir els mateixos contractant caldereries nacionals els costos són més baixos.

## **6.6. Muntatge d'aerogeneradors**

Paral·lelament al transport de cada estructura Spar a la ubicació o emplaçament triat per present parc, es procedirà al transport i muntatge de la gòndola i pales dels aerogeneradors.

Els terminis aniran marcats de manera que un cop realitzat el fondeig de la estructura al punt determinat es procedeixi a la instal·lació i muntatge de les pales al mateix emplaçament de l'estructura, en alta mar.

## 7. Estudi econòmic i viabilitat del projecte

S'ha realitzat un estudi exhaustiu dels costos tant d'inversió inicial com de operació i manteniment al llarg de la vida útil del projecte.

*Taula 9. Paràmetres bàsics del projecte*

<b>Nombre d'aerogeneradors</b>	15
<b>Capacitat nominal (MW)</b>	8
<b>Capacitat total (MW)</b>	120
<b>CAPEX (€/MW)</b>	2,99
<b>CAPEX (M€)</b>	358
<b>OPEX (€/MW/any)</b>	54.717
<b>OPEX (M€/any)</b>	6,56
<b>Vida útil del projecte (anys)</b>	50
<b>Producció anual d'energia (M de kWh/any)</b>	751
<b>Habitatges abastits</b>	181.657

El present parc consta de 15 aerogeneradors de 8MW de capacitat nominal amb un rendiment del 75%. El cost d'execució del parc és de 358 M€ i amb una despesa de gairebé 5M€ anuals en operació i manteniment al llarg dels 50 anys de vida útil del projecte.

*Taula 1. Paràmetres financers bàsics del projecte*

<b>WACC (Weight average cost of capital)</b>	0,075
<b>Impostos</b>	24%
<b>Anys retorn préstec bancari</b>	10
<b>Interessos</b>	6%
<b>Inflació sobre els costos d'O&amp;M</b>	0,03%
<b>Deute (M €)</b>	269
<b>Quota anual (M€)</b>	36,5

S'ha considerat que el 25% de la inversió inicial del projecte, es duta a terme pels inversos capitalistes mentre que el 75% restant (269 M€) són aportats pel banc amb un interès del 6% a retorn en 10 anys, mentre que els inversos tindrien uns guanys del 12%. Això significa que el Weight Average Cost of Capital que representa la quantitat a donar per cada euro invertit és de 0,075.

Durant els 10 primers anys, es considera una quota anual de retorn de 36,5 M€, interessos inclosos.

Un dels indicadors més explicatius de la viabilitat d'un projecte en el món de l'energia és el LCOE, que indica la quantitat a partir de la qual es podria vendre l'electricitat i es recuperaria la inversió realitzada.

Hi ha diferents fórmules, de més senzilles a més complexes. En el present estudi econòmic s'ha fet servir la següent:

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t(1+r)^t + d}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{M_t}{(1+i)^t}} = 43,57 \text{ €/MWh}$$

Aquest valor del cost de l'energia és molt competitiu comparat amb altres energies a Europa, essent del mateix ordre que la eòlica terrestre. Aquest preu tan barat pot ser per diversos motius: l'utilització de l'aerogenerador de 8MW molt més eficient que els altres aerogeneradors (75%) en el punt escollit, la reducció de costos d'O&M amb la compra del buc per realitzar-les, l'utilització del formigó per a plataformes flotants enlloc de l'acer (preu molt més elevat) i l'avenç de la tecnologia en tots els elements del parc, que augmenta any rere any.

## 8. Gestió de residus

D'acord amb el RD 105/2008, d'1 de febrer, pel qual es regula la producció i gestió dels residus de construcció i demolició, s'ha redactat l'Estudi de Gestió de Residus corresponent a aquest projecte. L'estudi de gestió de residus es troba en l'Annex 9.

Es preveu la generació de residus de tipus inerts i no especials com ara restes d'excavacions, restes de demolicions de formigons, ferros, plàstics i fusta.

Es disposarà d'un contenidor per a residus inerts i un altre per altres residus no especials.

També es disposarà d'un bidó per a possibles residus especials que es puguin generar en l'execució de les obres.

El Pressupost d'execució material previst per a la gestió de residus en les obres ascendeix a **DOS-CENTS DISSET MIL QUATRE-CENTS CINQUANTA-NOU EUROS AMB VUITANTA-QUATRE CÈNTIMS (217.459,84 €)**

## 9. Normativa i reglamentació d'aplicació

Les obres definides en aquest document han estat dissenyades i desenvolupades sota el criteri extret de les següents normatives i documentació bibliogràfica rellevant:

- ROM 0.2-90- Acciones en el proyecto de obras marítimas.
- ROM 0.5-94- Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- Recomendaciones para la gestión del material de dragado CEDEX.
- Instrucción del hormigón estructural EHE-08.
- Llei 30/2007, de 30 d'octubre, publicat al BOE el 31 d'octubre, referent a la "Ley de Contratos del Sector Público".
- RD 105/2008, d'1 de febrer, pel qual es regula la producció i gestió dels residus de construcció i demolició.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes. Construcción de explanaciones y drenajes y cimentaciones (PG3).
- Directiva 92/57/CEE de 24 de juny sobre "Disposicions mínimes de seguretat i salut que s'hauran d'aplicar a les obres de construcció temporals o mòbils".
- RD 1627/1997 de 24 d'octubre sobre " Disposicions mínimes de Seguretat i Salut en les obres de construcció".
- RDL 1302/1986, de 28 de juny, d'Avaluació d'Impacte Ambiental.
- Llei 31/1995 de 8 de novembre sobre "Prevenció de riscos Laborals".
- Offshore Standard DNV - OS - J101. October 2010. Det Norske Veritas
- Eurocodi - 1 Part 4: Acciones en estructuras. Accions del vent UNE ENV - 1991 - 2 - 4
- Training Course. Wind Towers: Design by FEM and technological features. Coimbra, 28/03 to 01/04 2011
- Handbook of Offshore Structures, Chakrabarti, S (2005)
- Código Técnico de la Edificación. Documento Básico DB SE - AE: Seguridad Estructural - Acciones en Edificación. Any 2009
- American Petroleum Institute (Dec. 2000): Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms API - RP2A
- Engineering Challenges for Floating Offshore Wind Turbines. Conference paper
- NREL/CP-500 38776 Setembre 2007.

## **10. Pla d'obres**

En compliment de la “Ley de Contratos del Sector Público”, aprovat pel Reial Decret 30/2007 de 30 d'octubre de 2007, s'elabora l'Annex 7 de Pla d'Obres on s'estudia amb caràcter indicatiu el possible desenvolupament dels treballs.

Per a les obres definides en el present projecte s'estimen com a període d'execució un total de 49,5 mesos.



## **11. Estudi d'impacte ambiental**

D'acord la normativa vigent en matèria d'Avaluació d'Impacte Ambiental, el present projecte no es troba entre els existents a l'Annex I del RDL 1302/1986, de 28 de juny, no estant obligat a sotmetre's a avaluació d'impacte ambiental, però si es troba en l'Annex II de la mateixa normativa, de mode que serà l'administració local qui decidirà sobre la conveniència o no de la necessitat de sotmetre el present projecte a Avaluació d'Impacte Ambiental.

En qualsevol cas, s'ha redactat un estudi d'impacte ambiental, adjunt en l'annex 8, de caràcter bàsic.

## 12. Seguretat i salut

D'acord al que marca el Reial Decret 1627/1997, de 24 d'octubre, pel que s'implanta la obligatorietat de la inclusió d'un Estudi Bàsic de Seguretat i Salut en els projectes l'edificació i obra pública, s'ha redactat l'Annex 11 de Seguretat i Salut que recull les mesures preventives adequades als riscos que suposen la realització de les obres projectades. L'esmentat Annex consta dels següents documents:

- Memòria descriptiva dels procediments i equips a utilitzar en relació als riscos d'accidents que presumiblement poden produir-se. S'inclou també la descripció dels serveis sanitaris i comuns de què ha d'estar dotat el centre de treball.
- Plec de Condicions Particulars on es relacionen les normes legals i reglamentacions aplicables a la pròpia obra.
- Plànols on s'esquematitzen les mesures preventives definides a la Memòria per a una major comprensió i definició d'aquestes.

El pressupost d'execució material corresponent a la Seguretat i Salut per a les obres projectades és de NOU-CENTS QUARANTA MIL DOS-CENTS SETANTA-TRES EUROS AMB TRENTA-TRES CÈNTIMS (940.273,33 €).

Representa un 1,8% del pressupost d'execució material de la construcció del dic sec i de l'estructura. No s'ha considerat el cost de l'aerogenerador ni les tasques en alta mar, ja que sobrepassen l'abast d'aquest projecte bàsic.

### 13. Justificació de preus

La justificació de preus d'aquest projecte es basa en diferents criteris i bancs de referència. Els elements típics de construcció corresponen als bancs BEDEC 2011 i GISA 2010. Aquells elements que per singularitats especials no es troben en aquests bancs han estat calculats amb elements simples, si ha estat possible, del propi banc o de diferents fonts comercials i tècniques consultades. En qualsevol cas s'han considerat preus de mercat.

S'ha considerat un coeficient de costos indirectes del 5%. A l'Annex 12 de Justificació de Preus es justifica cadascun dels preus unitaris que figuren en b els Quadres de Preus.

## 14. Documents que integren el projecte

### **Document I. Memòria y Annexes**

- Memòria
- Annexos de la memòria
  - Annex 1. Antecedents - La energia eòlica marina
  - Annex 2. Emplaçament i batimetria
  - Annex 3. Estudi d'alternatives
  - Annex 4. Accions de càlcul:
    - 4.1. Vent
    - 4.2. Onatge
  - Annex 5. Càlcul estructural de l'element flotant
  - Annex 6. Procés constructiu
  - Annex 7. Pla d'obres
  - Annex 8. Estudi d'impacte ambiental
  - Annex 9. Gestió de residus
  - Annex 10. Control de Qualitat
  - Annex 11. Estudi de Seguretat i Salut
  - Annex 12. Justificació de Preus
  - Annex 13. Estudi econòmic i viabilitat del projecte

### **Document II. Plànols**

1. Emplaçament del parc
  - 1.1. Emplaçament
  - 1.2. Recurs eòlic
  - 1.3. Batimetria
  - 1.4. Protecció ambiental
  - 1.5. Procés constructiu
  - 1.6. Obres Dic Sud del Port de Barcelona
2. Disposició
  - 2.1. Disposició en planta
  - 2.2. Disposició en alçat i moorings
3. Estructura suport
  - 3.1. Dimensionament
  - 3.2. Proposta pretensat
  - 3.3. Armadures passives
  - 3.4. Estructures internes
4. Sistema d'evacuació elèctrica
  - 4.1. Sistema d'evacuació elèctrica
5. Seguretat i Salut
  - 5.1. Recinte d'obres
  - 5.2. Situació serveis d'emergència
  - 5.3. Abalisament marí 1
  - 5.4. Abalisament marí 2

- 6. Gestió de residus
  - 6.1. Gestió de residus
- 7. Procés constructiu
  - 7.1. Fonaments
  - 7.2. Transport
  - 7.3. Fondeig
  - 7.4. Assemblatge

### **Document III. Plec de Condicions Tècniques**

### **Document IV. Pressupost**

- 4.1. Amidaments
- 4.2. Quadre de preus 1
- 4.3. Quadre de preus 2
- 4.4. Pressupost
- 4.5. Resum del pressupost i últim full

## **15. Firma del projectista**

Amb tot el que s'exposa en la Memòria del present Projecte, així com en la resta de documents que s'adjunten, es considera suficientment justificat i quantificat el present projecte bàsic, complint l'objectiu principal pel qual ha estat redactat.

Barcelona, a gener de 2016

L'autor del Projecte

Pau Schoenenberger Martorell

Enginyer de Camins, Canals i Ports